

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-48094

(43)公開日 平成11年(1999) 2月23日

(51)IntCl.⁶

識別記号

F I

B 2 3 Q 15/18

B 2 3 Q 15/18

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全 14 頁)

(21)出願番号 特願平9-211921

(22)出願日 平成9年(1997) 8月6日

(71)出願人 000005267

ブラザー工業株式会社

愛知県名古屋市長区瑞穂区苗代町15番1号

(72)発明者 清水 公千

愛知県名古屋市長区瑞穂区苗代町15番1号

ブラザー工業株式会社内

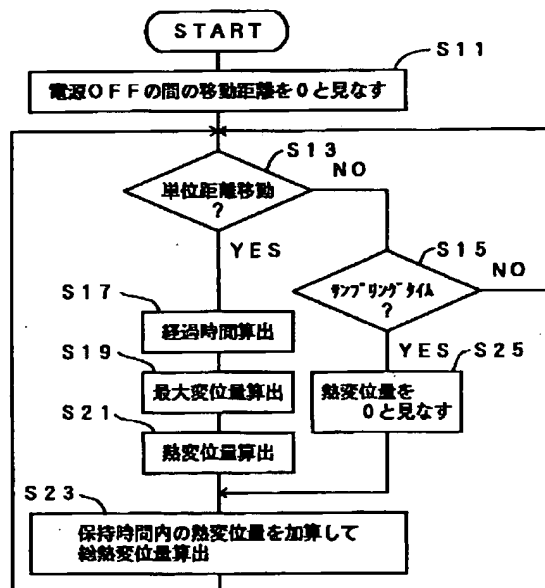
(74)代理人 弁理士 足立 勉

(54)【発明の名称】 工作機械の熱変位量算出装置及び記憶媒体

(57)【要約】

【課題】 加工プログラムの変更に柔軟に対応でき、しかも、正確に熱変位量を算出することのできる工作機械の熱変位量算出装置の提供。

【解決手段】 工作機械の主軸が単位距離移動するまで待機し (S13, S15)、単位距離移動するとその間の経過時間を算出する (S17)。同様の駆動状態を続けた場合における上記工作機械の熱変位の最大値としての最大変位量は、上記算出された経過時間と良好な対応関係を有している。そこで、上記経過時間に基づいて最大変位量を算出し (S19)、その最大変位量と工作機械の駆動時間とに基づいて熱変位量を算出し (S21)、更に、過去に算出された熱変位量の影響を加算する (S23)。主軸が単位距離移動する毎に、しかも、その移動に要した経過時間に基づいて熱変位量を算出しているので、加工プログラムが変更されたか否かに関わらず、正確かつ容易に熱変位量を算出することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 被加工物に加工を施すための加工手段と、該加工手段と被加工物との相対位置を変動させる駆動手段とを有する工作機械に装備され、該工作機械の熱変位量を算出する工作機械の熱変位量算出装置であって、
上記工作機械の駆動状態を検出する駆動状態検出手段と、
該駆動状態検出手段の検出結果に基づき、上記駆動手段が上記加工手段または上記被加工物を単位距離移動させるのに要した経過時間を算出する経過時間算出手段と、
同様の駆動状態を続けた場合における上記工作機械の熱変位の最大値としての飽和熱変位量を、上記算出された経過時間に基づいて算出する飽和熱変位量算出手段と、
該算出された飽和熱変位量と上記工作機械の駆動時間とに基づき、上記工作機械の熱変位量を算出する変位量算出手段と、
を備えたことを特徴とする工作機械の熱変位量算出装置。

【請求項2】 上記飽和熱変位量算出手段が、上記経過時間に対応する飽和熱変位量を算出するに当たって、両者の対応関係を表す折れ線または曲線からなるグラフを参照することを特徴とする請求項1記載の工作機械の熱変位量算出装置。

【請求項3】 上記飽和熱変位量算出手段及び上記変位量算出手段が、上記駆動手段が上記加工手段または上記被加工物を上記単位距離移動させる毎に上記算出を行うと共に、
上記変位量算出手段が以前に熱変位量を算出しているとき、その熱変位量の影響を上記変位量算出手段が新たに算出した熱変位量に加算して、現在の上記工作機械の熱変位量とする変位量加算手段を、
更に備えたことを特徴とする請求項1または2記載の工作機械の熱変位量算出装置。

【請求項4】 上記飽和熱変位量算出手段及び上記変位量算出手段が、上記加工手段または上記被加工物が低速で移動し、または完全に停止している場合には、所定時間毎に上記算出を行うことを特徴とする請求項3記載の工作機械の熱変位量算出装置。

【請求項5】 上記工作機械の熱変位量の影響が残存する保持時間を記憶する保持時間記憶手段を、更に備え、
上記変位量加算手段が、上記変位量算出手段が算出してから上記保持時間以上経過した熱変位量は無視して現在の上記熱変位量を算出することを特徴とする請求項3または4記載の工作機械の熱変位量算出装置。

【請求項6】 上記熱変位量に影響を及ぼす条件に対応して定められた調整値を、上記変位量算出手段または上記変位量加算手段によって算出された熱変位量に加算または減算して上記工作機械の熱変位量とする変位量調整手段を、

更に備えたことを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載の工作機械の熱変位量算出装置。

【請求項7】 上記調整値は時刻に対応して定められていて、上記変位量調整手段は時刻に基づいて上記調整値を選択して使用することを特徴とする請求項6記載の工作機械の熱変位量算出装置。

【請求項8】 上記調整値は上記工作機械の環境温度に対応して定められていて、上記変位量調整手段は該環境温度に基づいて上記調整値を選択して使用することを特徴とする請求項6記載の工作機械の熱変位量算出装置。

【請求項9】 被加工物に加工を施すための加工手段と、該加工手段と被加工物との相対位置を変動させる駆動手段とを有する工作機械に対して使用され、該工作機械の熱変位量を算出するためのコンピュータプログラムを記憶した記憶媒体であって、
上記工作機械の駆動状態を検出する駆動状態検出処理と、
該駆動状態検出処理の検出結果に基づき、上記駆動手段が上記加工手段または上記被加工物を単位距離移動させるのに要した経過時間を算出する経過時間算出処理と、
同様の駆動状態を続けた場合における上記工作機械の熱変位の最大値としての飽和熱変位量を、上記算出された経過時間に基づいて算出する飽和熱変位量算出処理と、
該算出された飽和熱変位量と上記工作機械の駆動時間とに基づき、上記工作機械の熱変位量を算出する変位量算出処理と、
を実行させるコンピュータプログラムを記憶したことを特徴とする記憶媒体。

【発明の詳細な説明】
【0001】
【発明の属する技術分野】本発明は、工作機械に装備され、その工作機械で発生する熱変位量を算出する工作機械の熱変位量算出装置及びその装置を実現するための記憶媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、例えばワークに切削や穴開け等を施したり基板に部品を組み付けるための加工手段と、この加工手段とワークや基板等の被加工物との相対位置を変動させる駆動手段とを有する工作機械がある。一般に、切削等の加工を行う工作機械では、例えばドリルやタップ等の工具を保持するための保持機構、これに保持された工具を回転駆動するための主軸駆動機構、工具のX軸方向の送りのためのX軸送り機構、工具のY軸方向の送りのためのY軸送り機構、工具のZ軸方向の送りのためのZ軸送り機構、これらの送り機構を制御するための制御装置等を備えている。

【0003】一例をあげると、図12および図13に示される工作機械10がある。図12に示すように、この工作機械10は、切削屑の飛散を防止するためのスプラッシュガード12の内側にワーク（図示しない）を載置

するためのテーブル14、例えばドリルやタップ等の工具交換のためのATCマガジン16、工作機械本体（以下単に本体ともいう）20等が配置されている。またスブラッシュガード12には、操作パネル22、ワークの入出やメンテナンスのためのワーク交換口24、主にメンテナンス用の点検ハッチ26等が設けられている。

【0004】図13に示すように、本体20は、ドリルやタップ等の工具を保持するための主軸28、主軸28を回転駆動するための主軸モータ30、多数の鋼球を内蔵して主軸側に固着されているナット部32とナット部32に内挿されるボールネジ34とからなるボールネジ機構36、ボールネジ34を回転駆動するためのZ軸モータ38、ボールネジ34と平行に配されているガイドレール40、ガイドレール40と主軸28側とを連結するスライド42等を備えている。

【0005】この本体20においては、ボールネジ機構36とZ軸モータ38とでZ軸方向の送りのためのZ軸送り機構が構成され、Z軸モータ38によりボールネジ34を回転させることで主軸28のZ軸方向の移動が行われる。また図12に示されるテーブル14をX軸およびY軸方向に移動させることができ、主軸28のZ軸方向の移動と併せて、ワークと工具のX、Y、Z軸方向の相対位置を変化させることができる。

【0006】このような工作機械では、例えばボールネジ機構36の稼働に伴って摩擦熱が発生してボールネジ34が延びることがある。また、他の機構においても発熱がある。そうした発熱によって工作機械に熱変位が出現する。この熱変位が例えばZ軸方向に出現すると、ワークに施される溝の深さや段差の高さ等に誤差が生じる。公差が熱変位量よりも十分に大きい場合にはこのような熱変位による加工誤差はあまり問題とはならないが、そうでない場合には熱変位に対する補正が必要となる。そこで、工作機械の熱変位量を算出する熱変位量算出装置を設け、予め定められている加工プログラムに従って駆動手段を制御するに当たって、その熱変位量に応じた補正を行いながら駆動手段を制御することが提案されている（例えば特開昭62-88548号公報）。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の工作機械の熱変位量算出装置においては、工作機械の稼働中を通して熱変位量を算出する形態であったので、その処理を実行するためのシステムを常時動かしておく必要があった。このため、その算出処理に関わる負担が大きかった。そこで、本願出願人は、工作機械が稼働を続けることによって温度が上昇すると、やがて発熱量と放熱量とが均衡する状態になることに着目し、次のように熱変位量を算出することを提案した。すなわち、工作機械の駆動中は、飽和熱変位量（上記均衡状態における熱変位量）と工作機械の駆動時間とに基づいて各時点における熱変位量を算出し、その熱変位量が飽和熱変位量に

ほぼ等しくなると、それ以降は熱変位量として飽和熱変位量の値を代用するのである（特願平8-298866号）。この場合、正確な飽和熱変位量が与えられれば、各時点における熱変位量を正確に算出でき、しかもその算出処理に関わる負担を小さくすることができる。

【0008】ところが、飽和熱変位量は、継続される工作機械の駆動状態に依存して変動するので、従来より実測やシミュレーションによって算出しなければならないと考えられていた。このため、加工プログラムの変更等がなされると、熱変位量の算出がきわめて困難になっていた。

【0009】そこで、本発明は、加工プログラムの変更に対応でき、しかも、正確に熱変位量を算出することのできる工作機械の熱変位量算出装置及びその装置を実現するための記憶媒体を提供することを目的としてなされた。

【0010】

【課題を解決するための手段及び発明の効果】上記目的を達するためになされた請求項1記載の発明は、被加工物に加工を施すための加工手段と、該加工手段と被加工物との相対位置を変動させる駆動手段とを有する工作機械に装備され、該工作機械の熱変位量を算出する工作機械の熱変位量算出装置であって、上記工作機械の駆動状態を検出する駆動状態検出手段と、該駆動状態検出手段の検出結果に基づき、上記駆動手段が上記加工手段または上記被加工物を単位距離移動させるのに要した経過時間を算出する経過時間算出手段と、同様の駆動状態を続けた場合における上記工作機械の熱変位の最大値としての飽和熱変位量を、上記算出された経過時間に基づいて算出する飽和熱変位量算出手段と、該算出された飽和熱変位量と上記工作機械の駆動時間とに基づき、上記工作機械の熱変位量を算出する変位量算出手段と、を備えたことを特徴とする。

【0011】このように構成された本発明では、駆動状態検出手段は工作機械の駆動状態を検出し、その検出結果に基づき、経過時間算出手段は、駆動手段が加工手段または被加工物を単位距離移動させるのに要した経過時間を算出する。次に飽和熱変位量算出手段は、同様の駆動状態を続けた場合における工作機械の熱変位の最大値としての飽和熱変位量を、上記算出された経過時間に基づいて算出する。本願出願人は、加工手段または被加工物が単位距離移動するのに要した経過時間と、その駆動状態を続けた場合における工作機械の熱変位量の最大値としての飽和熱変位量との間には、比較的再現性のよい対応関係があることを発見した。飽和熱変位量算出手段は、その対応関係を参照して、上記経過時間に対応する飽和熱変位量を算出するのである。

【0012】すると、変位量算出手段が、該算出された飽和熱変位量と工作機械の駆動時間とに基づき、工作機械の熱変位量を算出する。工作機械の熱変位量は駆動時

5

間に応じて増加し、その変化は上記飽和熱変位置量に対する漸近線を描く。例えば、飽和熱変位置量を L 、駆動時間を t とした場合、熱変位置量 l の変化を、

$l = L \cdot \{1 - \exp(-\gamma t)\}$ 但し、 γ は工作機械固有の定数

なる式で表すことも提案されている。そこで、変位置量算出手段は、上記駆動時間と飽和熱変位置量とに基づいて各時点における工作機械の熱変位置量を算出するのである。もちろん、変位置量算出手段は上記以外の式を用いて熱変位置量を算出してもよい。このように、本発明では、加工手段または被加工物が単位距離移動するのに要した経過時間に基づいて飽和熱変位置量を算出し、その飽和熱変位置量に基づいて工作機械の熱変位置量を算出している。このため、加工プログラムが変更されたか否かに関わらず、正確かつ容易に熱変位置量を算出することができる。

【0013】しかも、本発明では、上記経過時間に基づいて熱変位置量を算出しているの、加工手段または被加工物の移動速度が速いほど上記経過時間は短くなり、短い時間で熱変位置量を算出することが可能となる。従って、本発明では、加工プログラムの変更に柔軟に対応でき、しかも、加工手段または被加工物の移動速度の変化が激しい場合にも、きわめて正確に熱変位置量を算出することができる。

【0014】請求項2記載の発明は、請求項1記載の構成に加え、上記飽和熱変位置量算出手段が、上記経過時間に対応する飽和熱変位置量を算出するに当たって、両者の対応関係を表す折れ線または曲線からなるグラフを参照することを特徴する。加工手段または被加工物が単位距離移動するのに要する経過時間があまり変化しない範囲では、経過時間の増加に応じて飽和熱変位置量もほぼ一定の割合で減少する。ところが、経過時間が大きく（すなわち加工手段または被加工物の移動速度が高速に）なるに従って、空冷効果等の種々の要因が熱変位置量に大きな影響を及ぼすようになる。このため、両者の対応関係を直線的な対応関係で規定した場合、上記経過時間の変動幅が大きいと高速域または低速域で正確な熱変位置量が算出困難となる。そこで、本発明では、経過時間に対応する飽和熱変位置量を算出するに当たって、両者の対応関係を表す折れ線または曲線からなるグラフを参照している。このため、飽和熱変位置量を正確に算出することができる。従って、本発明では、請求項1記載の発明の効果に加えて、加工手段または被加工物の移動速度に関わらず熱変位置量を一層正確に算出することができ、加工プログラムの変更に一層柔軟に対応することができるといった効果が生じる。なお、本発明で参照するグラフは、数式やデータテーブルの形態で提供されてもよい。

【0015】請求項3記載の発明は、請求項1または2記載の構成に加え、上記飽和熱変位置量算出手段及び上記変位置量算出手段が、上記駆動手段が上記加工手段または上記被加工物を上記単位距離移動させる毎に上記算出を

6

行くと共に、上記変位置量算出手段が以前に熱変位置量を算出しているとき、その熱変位置量の影響を上記変位置量算出手段が新たに算出した熱変位置量に加算して、現在の上記工作機械の熱変位置量とする変位置量加算手段を、更に備えたことを特徴とする。

【0016】加工プログラムには、工作機械を高速で駆動するステップと低速で駆動するステップとを含むものがある。この場合、上記飽和熱変位置量を、上記加工手段または上記被加工物が上記単位距離移動するのに要した平均的な経過時間に応じて算出すると、熱変位置量が工作機械を高速で駆動するステップでは熱変位置量が小さめに、低速で駆動するステップでは大きめに算出されてしまう。そこで、本発明では、飽和熱変位置量算出手段及び変位置量算出手段が、上記駆動手段が上記加工手段または上記被加工物を上記単位距離移動させる毎に、その時点で算出されている経過時間に基づいて上記計算を行っている。このため、工作機械の各時点における駆動状態に応じて、正確な熱変位置量を算出することができる。なお、各時点で算出された熱変位置量は、その後徐々に減少しながらも影響を及ぼす。例えば、熱変位置量が飽和熱変位置量 L に達するまで工作機械を駆動した後、駆動を停止してから時間 t 経過したときの熱変位置量 l を、

$l = L \cdot \exp(-\gamma t)$ 但し、 γ は工作機械固有の定数

なる式で表すことも提案されている。そこで、本発明では、変位置量算出手段が以前に熱変位置量を算出しているとき、変位置量加算手段により、その熱変位置量の影響を変位置量算出手段が新たに算出した熱変位置量に加算して、現在の上記工作機械の熱変位置量としている。

【0017】従って、本発明では、請求項1または2記載の発明効果に加えて、工作機械の各時点における駆動状態に応じて、一層正確な熱変位置量を算出することができるといった効果が生じる。また、本発明では、前述のように工作機械が高速で駆動されるほど熱変位置量を頻繁に算出することができるので、工作機械の速度変化に一層良好に対応して、きわめて正確な熱変位置量を算出することができる。

【0018】請求項4記載の発明は、請求項3記載の構成に加え、上記飽和熱変位置量算出手段及び上記変位置量算出手段が、上記加工手段または上記被加工物が低速で移動し、または完全に停止している場合には、所定時間毎に上記算出を行うことを特徴としている。

【0019】飽和熱変位置量算出手段及び変位置量算出手段が、駆動手段が加工手段または被加工物を単位距離移動させる毎に上記算出を行う場合、加工手段または被加工物がきわめて低速で移動し、または完全に停止していると、飽和熱変位置量算出手段及び変位置量算出手段が上記算出を行う間隔がきわめて長くなる。そこで、本発明では、飽和熱変位置量算出手段及び変位置量算出手段に、加工手段または被加工物が低速で移動し、または完全に停止

7

している場合には、所定時間（通常時における上記経過時間より充分に長い）毎に上記算出を行わせている。このため、加工手段または被加工物が殆ど停止している場合にも熱変位量の変化を良好に追跡することができる。従って、本発明では、請求項3記載の発明の効果に加え、熱変位量の変化を一層良好に追跡して、装置の信頼性を一層向上させることができるといった効果が生じる。

【0020】請求項5記載の発明は、請求項3または4記載の構成に加え、上記工作機械の熱変位量の影響が残存する保持時間を記憶する保持時間記憶手段を、更に備え、上記変位量加算手段が、上記変位量算出手段が算出してから上記保持時間以上経過した熱変位量は無視して現在の上記熱変位量を算出することを特徴とする。

【0021】工作機械の熱変位量はある期間の間はその影響が残存するが、その後は影響がなくなる。なお、ここで影響がなくなるとは、数学的な意味でなくなることをいうわけではなく、熱変位量の影響が、工作機械の仕様やワークに要求される公差等を考慮して設定される誤差の範囲に収まることをいう。そこで、本発明では、保持時間記憶手段により工作機械の熱変位量の影響が残存する保持時間を記憶しておき、変位量加算手段が、変位量算出手段が算出してから上記保持時間以上経過した熱変位量は無視して現在の熱変位量を算出する。このため、変位量加算手段は、上記保持時間内に変位量算出手段が算出した熱変位量のみを考慮して上記加算を行えばよく、その算出処理に関わる負担を小さくすることができる。

【0022】従って、本発明では、請求項3または4記載の発明の効果に加えて、算出処理に関わる負担を小さくして、その処理に関わるソフト構成等を簡略化すると共に処理速度を向上させることができるといった効果が生じる。請求項6記載の発明は、請求項1～5のいずれかに記載の構成に加え、上記熱変位量に影響を及ぼす条件に対応して定められた調整値を、上記変位量算出手段または上記変位量加算手段によって算出された熱変位量に加算または減算して上記工作機械の熱変位量とする変位量調整手段を、更に備えたことを特徴とする。

【0023】工作機械の熱変位量には、上記移動距離や駆動時間の他、種々の条件が影響を及ぼす。例えば朝等の気温が比較的低いとき等では工作機械の温度上昇が緩やかになり、算出された熱変位量と実際の熱変位量との誤差が無視できない程度になることもある。そこで、本発明では、変位量調整手段により、熱変位量に影響を及ぼす条件に対応して定められた調整値を、変位量算出手段または上記変位量加算手段によって算出された熱変位量に加算または減算して上記工作機械の熱変位量としている。このため、本発明では、請求項1～5のいずれかに記載の発明の効果に加えて、工作機械の熱変位量を一層正確に算出することができるといった効果が生じる。

8

なお、上記調整値は、例えばオペレータが、操作パネル等の調整入力手段によって入力してもよく、熱変位量算出装置側で、予め設定されている手順で決められる調整値を求めてもよい。

【0024】請求項7記載の発明は、請求項6記載の構成に加え、上記調整値は時刻に対応して定められていて、上記変位量調整手段は時刻に基づいて上記調整値を選択して使用することを特徴とする。この構成とすれば、例えば1日の時間帯（朝、昼、夜等）に応じて、算出された熱変位量と実際の熱変位量との誤差を自動的に解消することができる。従って、本発明では、請求項6記載の発明の効果に加えて、時刻に関わらず常に正確な熱変位量を算出することができるといった効果が生じる。

【0025】請求項8記載の発明は、請求項6記載の構成に加え、上記調整値は上記工作機械の環境温度に対応して定められていて、上記変位量調整手段は該環境温度に基づいて上記調整値を選択して使用することを特徴とする。この構成とすれば、工作機械が設置されている場所の気温すなわち環境温度に応じて、算出された熱変位量と実際の熱変位量との誤差を自動的に解消することができる。従って、本発明では、請求項6記載の発明の効果に加えて、環境温度に関わらず常に正確な熱変位量を算出することができるといった効果が生じる。

【0026】請求項9記載の発明は、被加工物に加工を施すための加工手段と、該加工手段と被加工物との相対位置を変動させる駆動手段とを有する工作機械に対して使用され、該工作機械の熱変位量を算出するためのコンピュータプログラムを記憶した記憶媒体であって、上記工作機械の駆動状態を検出する駆動状態検出処理と、該駆動状態検出処理の検出結果に基づき、上記駆動手段が上記加工手段または上記被加工物を単位距離移動させるのに要した経過時間を算出する経過時間算出処理と、同様の駆動状態を続けた場合における上記工作機械の熱変位の最大値としての飽和熱変位量を、上記算出された経過時間に基づいて算出する飽和熱変位量算出処理と、該算出された飽和熱変位量と上記工作機械の駆動時間とに基づき、上記工作機械の熱変位量を算出する変位量算出処理と、を実行させるコンピュータプログラムを記憶したことを特徴とする。

【0027】本発明の記憶媒体はこのように構成されているので、工作機械に接続されたコンピュータ等の制御手段に本発明に記憶されたコンピュータプログラムを実行させれば、請求項1記載の駆動状態検出手段、経過時間算出手段、飽和熱変位量算出手段、及び変位量算出手段に相当する駆動状態検出処理、経過時間算出処理、飽和熱変位量算出処理、及び変位量算出処理を実行させることができる。従って、本発明に記憶されたコンピュータプログラムを上記制御手段に実行させれば、請求項1記載の発明と同様の効果が生じる。また、本発明に記憶

された各処理のプログラムに、請求項2、3、4、5、6、7、または8記載の発明に限定した要件を付加すれば、それを実行させたとき、対応する請求項2、3、4、5、6、7、または8記載の発明と同様の効果が生じる。

【0028】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施例を図面を参照して説明することにより、発明の実施の形態を具体的に説明する。

【0029】

【実施例】本実施例の工作機械のメカニカルな構成は従来例として図12及び図13に示したものと同一であるので、これらを使用して工作機械10のメカニカルな構成の説明は省略する。

【0030】図1は、第1実施例としての工作機械10の制御系の構成を表すブロック図である。図1に示すように、この制御系は、主軸28の回転を制御するための主軸制御系50、主軸28のZ軸位置を制御するためのZ軸制御系60、この制御系の中核となる本発明の工作機械の熱変位量算出装置としてのマイコン部70、操作パネル22、及びテーブル14のX軸位置を制御するためのX軸制御系（図示略）やテーブル14のY軸位置を制御するためのY軸制御系（図示略）等から構成されている。

【0031】主軸制御系50は、主軸モータ30、主軸モータ30に電力を供給するための主軸サーボアンプ52、及び主軸サーボアンプ52の供給電力を制御するための軸制御回路54からなり、軸制御回路54はマイコン部70のCPU72からの指示に従って主軸サーボアンプ52の動作を制御する構成である。Z軸制御系60は、Z軸モータ38、Z軸モータ38に電力を供給するためのZ軸サーボアンプ62及びZ軸サーボアンプ62の供給電力を制御するための軸制御回路64からなり、軸制御回路64はマイコン部70のCPU72からの指示に従ってZ軸サーボアンプ62の動作を制御する構成である。また、図示を省略したX軸制御系及びY軸制御系も、これら主軸制御系50並びにZ軸制御系60とはほぼ同様の構成である。

【0032】マイコン部70は、制御プログラム等を格納しているROMや入出力ポート等を内蔵するワンチップ型のCPU72、RAM74及び時計76等からなり、周知のマイクロコンピュータとして構成されている。このマイコン部70（厳密にはCPU72）は、制御プログラムに従って主軸制御系50、Z軸制御系60等を制御して、ワークに所定の加工を施させるのである。また、マイコン部70は操作パネル22に接続されており、マイコン部70は、操作パネル22からの入力信号を取得したり、操作パネル22に信号を送って操作パネル22の液晶ディスプレイの画像や文字の表示を制御することやLEDの点滅を制御すること等ができる。

【0033】RAM74は、周知のようにCPU72のワークエリアとなるが、本実施例では、このRAM74上に図2に示される構成のピッチ誤差補正テーブルが設けられている。このピッチ誤差補正テーブルは、例えばボールネジ機構36の駆動誤差を補正するためのテーブルである。

【0034】Z軸移動を受け持つボールネジ機構36は、製造公差等によりボールネジ34の回転量とナット部32の移動量（すなわち主軸28のZ軸方向移動量）との誤差が避けられないので、それを補正する必要がある。そこで適当な数の補正ポイントを設定し（ボールネジ34の長さが500mmで20mm毎に補正するとすれば、補正ポイントは25箇所となる。）、その補正ポイント毎にボールネジ34の回転による移動量の計算値と実測値との誤差を求め、その誤差に相当するボールネジ34の回転量（ピッチ）をピッチ誤差補正テーブルに書き込んでおき、各補正ポイント毎にそのピッチ分だけボールネジ34を正あるいは逆回転させることによって主軸28のZ軸位置を正確ならしめている。X軸及びY軸についても同様である。

【0035】時計76は、いわゆる電子時計であって、年月日時刻を算出してそのデータをCPU72に送ることができる。なおCPU72は、一定の周期例えば1/1000秒毎にカウント値をインクリメントするカウンタを内蔵して、そのカウンタを使用することにより、例えばある加工の開始から終了までの所要時間のような、経過時間を計測することもできる。

【0036】さて、この工作機械10を駆動すると、例えばそのZ軸方向に、ボールネジ34の膨張等によって熱変位が発生する。そこで、CPU72は、その熱変位を補正しつつ加工プログラムを実行するため、図3の熱変位量算出処理を実行している。なお、CPU72は、電源投入後この熱変位量算出処理を所定タイミングで割り込み処理として実行し、加工プログラムの実行等によって発生する熱変位量を算出している。

【0037】図3に示すように、CPU72は処理を開始すると、まず、S11（Sはステップを表す：以下同様）にて、電源OFFの間の移動距離を0と見なす処理を行う。後述のように、過去に熱変位量が算出されてその影響が現在も残存している場合、その影響を考慮して工作機械10の熱変位量を算出する必要がある。また、このような熱変位量は、工場の休憩時間等に工作機械10の電源が一時的にOFFされた後にも残存している場合がある。そこで、このS11では、電源がOFFされていた間の主軸28のZ軸方向の移動距離を0とするのである。

【0038】続くS13では、工作機械10の駆動状態を検出し、それに基づいて主軸28がZ軸方向に単位距離移動したか否かを判断する。単位距離移動していない場合は（S13:NO）、S15へ移行してサンプリン

11

グタイムとなったか否かを判断し、サンプリングタイムでなければ(S15:NO)前述のS13へ移行する。ここで、本処理におけるサンプリングタイムは充分に長く設定されており、通常は、サンプリングタイムとなる前に主軸28が単位距離移動して(S13:YES)、S17へ移行する。S17では、S13及びS15で形成されたループ処理を継続した時間、すなわち主軸28が単位距離移動するのに要した経過時間を算出する。その後、S19へ移行して、飽和熱変位量としての最大変位量 l を次のように算出する。

【0039】工作機械10の駆動を続けることによって温度が上昇すると、やがて発熱量と放熱量とが均衡する。このときの熱変位量が最大変位量 l である。工作機械10を一定の状態に駆動し続けた場合、最大変位量 l は、上記経過時間に対して図4に示す対応関係を有する。経過時間が長いほど主軸28の移動速度が小さいので、図4に示すように、経過時間が増加するに従って最大変位量 l は減少する。また、この対応関係は、経過時*

$$l = L_{1a} \cdot \{1 - \exp(-\gamma t)\} \quad \cdots (1)$$

で、漸近線104は、

$$l = L_{1a} \cdot \exp(-\gamma t) \quad \cdots (2)$$

で、それぞれ表される。但し、 γ は工作機械10固有の定数であり、 t 及び l の単位はそれぞれhour, μm である。従って、この式より、工作機械10の駆動開始後 a 分後の熱変位量 l_{1a} は、

$$l_{1a} = L_{1a} \cdot \{1 - \exp(-\gamma \cdot a/60)\}$$

となる。また、工作機械10停止後 a 分後の熱変位量 l_{-1a} は、

$$l_{-1a} = L_{1a} \cdot \exp(-\gamma \cdot a/60)$$

となる。S21では、主に式(1)を用いて上記経過時間の間の熱変位量 l を算出する。更に、続くS23では、後述の保持時間以内の熱変位量 l を加算して、次のように総熱変位量を算出した後、S13及びS15のループ処理へ移行して待機する。なお、以下の説明では、工作機械10の駆動後、時刻 t_1 , t_2 , ……(分)においてS13からS17へ移行したものと説明する。すなわち、時刻 t_1 , t_2 , ……の間隔がそれぞれの処理における経過時間である。

【0041】本実施例では、上記経過時間に基づいて熱変位量 l を算出した場合(S13~S21)、熱変位量 l はその後式(2)に従って減少するものとする。すなわち、図6(A)に曲線201で例示するように、時刻0から時刻 t_1 までの間の経過時間に基づいて算出された熱変位量 l_{t1} の時刻 t_1 における値 l_{t1-1} は、前述のように、

$$l_{t1-1} = L_{t1} \cdot \{1 - \exp(-\gamma \cdot t_1/60)\}$$

となる。但し、 L_{t1} は時刻0から時刻 t_1 間での経過時間に基づいて算出された最大変位量である。そして、時刻 t_2 における熱変位量 l_{t2} の値 l_{t1-2} は、式(2)より、

12

*間が所定値以下であると傾きがなだらかになる折れ線グラフによって表される。これは、主軸28が高速で移動する(経過時間が短い)と、空冷効果によって放熱量が増加し、熱変位が抑制されるためである。S19では、S17にて算出した経過時間(min)に基づき、図4のグラフを参照して対応する最大変位量 l を算出するのである。なお、図4のグラフは、数式やデータテーブルの形態でCPU72に格納されてもよい。

【0040】続くS21では、主軸28が上記単位距離移動する間(すなわち上記経過時間の間)の熱変位量 l を、次のように算出する。図5に例示するように、最大変位量が L_{1a} であった場合、工作機械10駆動中の熱変位量 l は、直線 $l = L_{1a}$ に対する漸近線102を描く。また、熱変位量 l が最大変位量 L_{1a} に達した後(図5では $t = 8 \text{ hour}$ の時点)、工作機械10を停止すると、熱変位量 l は直線 $l = 0$ に対する漸近線104を描く。ここで、漸近線102は、

$$* l_{t1-2} = l_{t1-1} \cdot \exp\{-\gamma \cdot (t_2 - t_1)/60\}$$

以下同様に、時刻 t_3 , t_4 における熱変位量 l_{t1} の値 l_{t1-3} , l_{t1-4} は、

$$l_{t1-3} = l_{t1-1} \cdot \exp\{-\gamma \cdot (t_3 - t_1)/60\}$$

$$l_{t1-4} = l_{t1-1} \cdot \exp\{-\gamma \cdot (t_4 - t_1)/60\}$$

となる。同様に、時刻 t_1 から時刻 t_2 までの間の経過時間に基づいて最大変位量 L_{t2} が算出されたとすると、それに対応する熱変位量 l_{t2} は図6(B)に曲線202で例示するように変化し、その時刻 t_2 , t_3 , t_4 における値 l_{t2-1} , l_{t2-2} , l_{t2-3} は、それぞれ、

$$l_{t2-1} = L_{t2} \cdot [1 - \exp\{-\gamma \cdot (t_2 - t_1)/60\}]$$

$$l_{t2-2} = l_{t2-1} \cdot \exp\{-\gamma \cdot (t_3 - t_2)/60\}$$

$$l_{t2-3} = l_{t2-1} \cdot \exp\{-\gamma \cdot (t_4 - t_2)/60\}$$

となる。S23では、このようにして算出された熱変位量 l_{t1} , l_{t2} , ……のその時刻における値を加算して総熱変位量を算出するのである。例えば、時刻 t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , t_5 , ……の間の経過時間に基づいて、図6(C)に曲線201, 202, 203, 204, 205, ……で例示する熱変位量 l が算出されたとすると、S23で算出される総熱変位量は、図6(C)に曲線200で例示するように変化する。

【0042】また、各時刻で算出された熱変位量 l は、前述のように時間の経過に伴って減少するので、S21

13

にて算出してから所定の時間(例えば120分)を経過した熱変位量1が総熱変位量に及ぼす影響は無視することが可能となる。そこで、CPU72は、上記所定の時間を保持時間としてROMに記憶しており、保持時間以内に算出された熱変位量1についてのみ上記加算を行って総熱変位量を算出している。このため、S23の処理で加算しなければならない熱変位量1の個数が少なくなり、その算出処理に関わる負担を小さくすることができる。従って、その処理に関わるソフト構成等を簡略化すると共に処理速度を向上させることができる。

【0043】一方、S13、S15のループ処理を継続する間にサンプリングタイムとなった場合(S15、YES)、この場合は主軸28が殆ど停止していると考えられる。そこで、この場合はその間の熱変位量1を0と見なして(S25)、総熱変位量の算出を行う(S23)。このため、主軸28が殆ど停止している場合にも総熱変位量を定期的に算出して、その変化を良好に追跡することができる。

【0044】また、CPU72は、各時刻で算出された熱変位量1を、それを算出した時刻と対応づけてRAM74のテーブルに記憶しており、その記憶内容を電源OFFの間にも、図示しないバックアップ電源により保持している。また、その時点で算出されている主軸28の移動距離(上記単位距離未満の端数)も同様に保持している。このため、電源が一旦OFFされて再びONされたときには、S11にて電源OFFの間の移動距離を0と見なすと共に、S23へ移行したとき、前回の電源ONの期間中に算出された熱変位量1の内、算出されてから保持時間を経過していないものの影響を加算して総熱変位量を算出することができる。

【0045】以上説明したように、本実施例のマイコン部70では、主軸28が単位距離移動するのに要した経過時間に基づいて最大変位量Lを算出し、その最大変位量Lに基づいて工作機械10の熱変位量1を算出している。このため、加工プログラムが変更された否かに関わらず、正確かつ容易に熱変位量1を算出することができる。また、最大変位量Lを算出する際に参照した図4のグラフは、経過時間が短い(すなわち移動速度が速い)領域では傾きがなだらかになる折れ線形状を呈している。このため、空冷効果の影響を考慮して、最大変位量Lをきわめて正確に算出することができる。従って、本実施例のマイコン部70では、加工プログラムの変更に柔軟に対応でき、しかも、きわめて正確に総熱変位量を算出することができる。

【0046】また、マイコン部70では、主軸28が単位距離移動する毎にその間の経過時間を算出し、その時点で算出された移動距離に基づいて最大変位量L及び熱変位量1を算出し、更に算出後の熱変位量1に過去に算出された熱変位量1の影響を加算している。このため、各時刻における工作機械10の駆動状態に応じて、総熱

14

変位量をきわめて正確に算出することができる。従って、加工プログラムに工作機械10を高速で駆動するステップと低速で駆動するステップとが含まれていても、各時刻における総熱変位量をきわめて正確に算出することができる。また、本処理では、主軸28が単位距離移動する毎に総熱変位量を算出しているため、主軸28の移動速度が速いほど頻繁に総熱変位量を算出することができる。従って、主軸28の移動速度の変化が激しい場合にも、きわめて正確に総熱変位量を算出することができる。更に、本処理では、主軸28が殆ど停止している場合には上記サンプリングタイム毎に総熱変位量を算出している。このため、主軸28が殆ど停止している場合にも総熱変位量の変化を良好に追跡することができ、装置の信頼性を一層向上させることができる。

【0047】なお、上記実施例において、主軸28が加工手段に、ボールネジ機構36及びZ軸モータ38が駆動手段に、CPU72内のROMが保持時間記憶手段に、CPU72が駆動状態検出手段、経過時間算出手段、飽和熱変位量算出手段、変位量算出手段、及び変位量加算手段に相当し、CPU72の処理の内、S13が駆動状態検出手段に、S17が経過時間算出手段に、S19が飽和熱変位量算出手段に、S21が変位量算出手段に、S23が変位量加算手段に、それぞれ相当する処理である。

【0048】次に、本発明の第2実施例を説明する。図7は、第2実施例としての工作機械10の制御系の構成を表すブロック図である。なお、本実施例の工作機械10もメカニカルな構成は従来例と同じであり、制御系の構成は次の点で第1実施例と異なる。

【0049】すなわち、図7に示すように、マイコン部70は前述の構成に加えてインタフェース(I/F)78を備えており、このインタフェース78を介してパソコン80に接続されている。パソコン80は、制御プログラム等を格納しているROMや入出力ポート等を内蔵するワンチップ型のCPU82、RAM84、時計86、及びマイコン部70と接続されるインタフェース(I/F)88等からなり、周知のマイクロコンピュータとして構成されている。また、パソコン80には、キーボード91及びCRT92も接続されている。この制御系では、加工プログラムに基づいて、マイコン部70が工作機械10を制御しており、マイコン部70からパソコン80へは主軸28の移動距離等、総熱変位量の算出に必要なデータが送信される。また、パソコン80は後述する熱変位量算出処理を行い、算出した総熱変位量をマイコン部70へ送信する。すると、マイコン部70は、送信された総熱変位量に基づき、補正を行いつつ上記加工プログラムを実行する。図8は、パソコン80(厳密にはCPU82)が実行する熱変位量算出処理を表すフローチャートである。なお、CPU82は、工作機械10の電源の状態を監視しており、その電源がON

されると図8の処理を所定タイミングで繰り返し実行する。図8に示すように、この熱変位量算出処理は、図3に示した熱変位量算出処理と殆ど同じであるので、異なる部分についてのみ説明する。

【0050】S13に代えて実行されるS13aでは、主軸28の移動距離をCPU82が自ら算出して単位移動距離に達したか判断するのではなく、マイコン部70から送信される移動距離に基づいて判断する。また、S23に代えて実行されるS23aでは、総熱変位量をS23と同様に算出した後、その総熱変位量をマイコン部70に送信する。その他の処理は第1実施例と同様であるので、図3で使用した符号をそのまま使用して詳細な説明を省略する。

【0051】このように構成された本実施例でも、第1実施例とほぼ同様の作用・効果が生じる。なお、本実施例でもCPU82は、主軸28が単位距離移動する毎に算出された熱変位量1を、それを算出した時刻と対応づけてRAM84のテーブルに記憶するが、この記憶内容は必ずしもバックアップしなくてもよい。これは、工作機械10の電源をOFFしてもパソコン80の電源をONに保持しておけば、記憶内容は消失しないからである。この点は移動距離の端数に対しても同様である。また、本実施例では、インタフェース88を介して接続される工作機械10を変更すれば、一つのパソコン80によって複数の工作機械10に対する総熱変位量の算出を行うことができる。

【0052】以上、実施例を挙げて本発明を説明したが、本発明は上記実施例になんら限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の形態で実施することができる。例えば、図3及び図8のS25では熱変位量を0と見なしているが、サンプリングタイム間の主軸28の移動距離に基づいて熱変位量を算出してもよい。また、上記実施の形態では、主軸28がZ軸方向に単位距離移動するのに要した経過時間から工作機械10のZ軸方向の熱変位量を算出しているが、主軸28が回転すると主軸28自身に熱変位が発生する。そこで、主軸モータ30が単位距離（単位回転量）回転するのに要した時間を経過時間として算出して、その経過時間からZ軸方向の熱変位量を算出してもよい。また、図3または図8の処理によって算出された前述の総熱変位量に、主軸28の回転に要した経過時間から算出した熱変位量を加算して、工作機械10全体としてのZ軸方向の熱変位量を算出してもよい。この場合、Z軸方向の熱変位量を一層正確に算出することができる。更に、本発明はワークを移動させる機構に適用してもよい。

【0053】また、最大変位量Lを求めるためのグラフは図4のものに限定されるものではなく、図9に例示するように直線で形成してもよい。また、3種類以上の傾きを有する折れ線で形成してもよく、曲線で形成してもよく、更に必要に応じて、経過時間の短い部分で傾きが

急になるようなグラフを使用したり、多数段の曲線でグラフを構成したりしてもよい。また更に、これらのグラフも前述のように、数式やデータテーブルで構成してもよい。

【0054】また、過去に算出された熱変位量1の影響を加算する形態も種々考えられ、例えば、図10に例示する形態を採用してもよい。図10では、時刻t1で算出された熱変位量1₁を起点として、時刻t2における熱変位量1₂を算出するための曲線を描き、こうして算出された熱変位量1₂を起点として、時刻t3における熱変位量1₃を算出するための曲線を描いている。

【0055】ここで、時刻t1、t2、t3で算出される最大変位量は、L₁、L₂、L₃と変化している。熱変位量1₁は前述の方法と同様に算出できるが、時刻t2以降における熱変位量1は次のように算出することができる。例えば、時刻t2における熱変位量1₂を算出するには、最大変位量L₂に対応した前述の式(1)

$$1 = L_2 \cdot \{1 - \exp(-\gamma \cdot t / 60)\}$$

より1=1₁となるtの値t₁₁を求め、時刻t2はその(t2-t1)分後と外挿して

$$1_2 = L_2 \cdot [1 - \exp\{-\gamma \cdot (t_{11} + t_2 - t_1) / 60\}]$$

とするのである。このような算出方法を採用しても、前述の算出方法(図6)と同様の作用・効果が生じる。但し、前述の算出方法では、一時的に誤ったデータが入力されても、少なくとも120分後にはその影響が排除されるといった効果が生じる。また、本発明の実施の形態としては、このような加算処理を行わず、最大変位量Lを一度算出した後その後ずっとそのLの値を用いて式(1)により熱変位量1を算出するものも含まれることはいうまでもない。

【0056】更に、工作機械10の熱変位量には、主軸28が単位距離移動するのに要した経過時間やその主軸28の駆動時間の他、種々の条件が影響を及ぼす。例えば朝等の気温が比較的低いとき等では工作機械10の温度上昇が緩やかになり、算出された総熱変位量と実際の熱変位量との誤差が無視できない程度になることもある。そこで、例えば図3のS23を図11のように変更し、各種調整を行えるようにしてもよい。

【0057】すなわち、S23bでは、S23と同様に総熱変位量を算出する。続くS23cでは、CPU72は、S23bで算出した総熱変位量に対する調整の要否を判断する。この要否判断は、(1)操作パネル22を介して調整値が入力されている、(2)時刻に対応して設定された調整値がある、(3)環境温度に対応して調整値を使用する必要がある、等の条件が成立しているか否かによってなされる。条件が成立していれば、調整要(S23c: YES)であり、S23dにて総熱変位量に調整値を加算あるいは減算して調整する。一方、調整不要(S23: NO)であれば、S23bにて算出され

17

た総熱変位量をそのまま保持してS13(図3)の処理へ移行する。すなわち、S23dは変位量調整手段に相当する処理である。

【0058】この場合、例えば、調整値を時刻に対応して定めれば、1日の時間帯(朝、昼、夜等)に応じて、算出された総熱変位量と実際の熱変位量との誤差を自動的に解消することができる。従って、時刻に関わらず常に正確な総熱変位量を算出することができる。また、調整値を工作機械10の環境温度に対応して定めれば、工作機械10が設置されている場所の気温すなわち環境温度に応じて、算出された総熱変位量と実際の熱変位量との誤差を自動的に解消することができる。従って、環境温度に関わらず常に正確な総熱変位量を算出できる。なお、図3のS21、図8のS21またはS23aをこのように変更しても同様の効果が生じる。

【0059】また更に、上記実施の形態では、図3、図8、または図11の処理を実行するためのプログラムをCPU72または82のROMに記憶しているが、これらのプログラムはフロッピーディスクやCD-ROM等の記憶媒体に記憶しておいてもよいことはいふまでもない。この場合、一般のコンピュータ等、任意の制御手段に上記処理を実行させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 第1実施例の工作機械の制御系の構成を表すブロック図である。

【図2】 その工作機械のピッチ誤差補正テーブルの構成を表す説明図である。

【図3】 その工作機械のCPUが実行する熱変位量算出処理を表すフローチャートである。

18

【図4】 最大変位量の算出に使用するグラフの構成を表す説明図である。

【図5】 最大変位量に対応した熱変位量の経時変化を例示する説明図である。

【図6】 熱変位量から総熱変位量を算出する処理を例示する説明図である。

【図7】 第2実施例の工作機械の制御系の構成を表すブロック図である。

【図8】 その工作機械に接続されたパソコンが実行する熱変位量算出処理を表すフローチャートである。

【図9】 最大変位量の算出に使用する他のグラフの構成を表す説明図である。

【図10】 熱変位量から総熱変位量を算出する他の処理を表す説明図である。

【図11】 熱変位量算出処理の更に他の形態を表すフローチャートである。

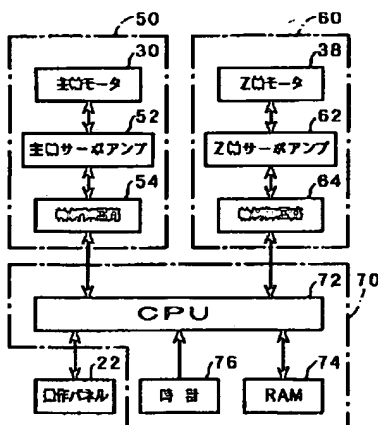
【図12】 実施例および従来例の工作機械の構成を表す説明図である。

【図13】 実施例および従来例の工作機械の構成を表す説明図である。

【符号の説明】

10…工作機械 14…テーブル 16…ATCマガジン 20…本体
28…主軸 30…主軸モータ 36…ボールネジ機構
38…Z軸モータ 70…マイコン部 72, 82…CPU
74, 84…RAM 76, 86…時計 80…パソコン

【図1】

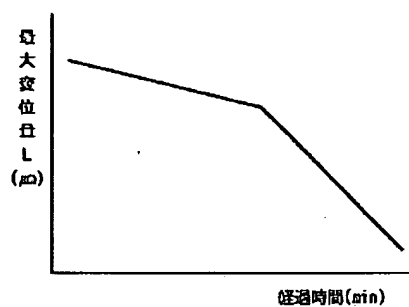


【図2】

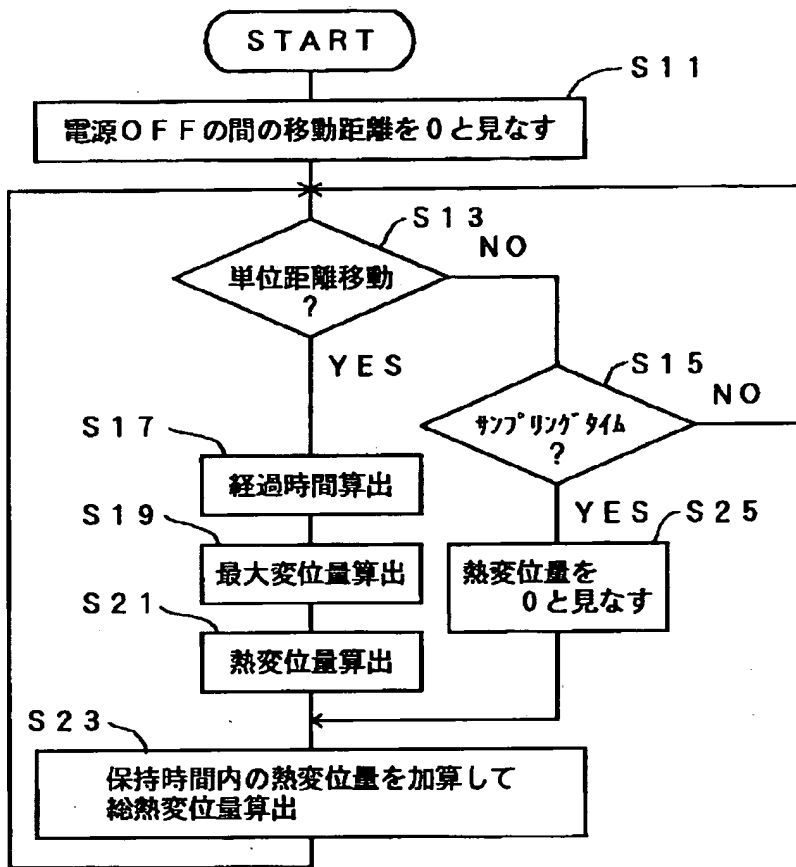
ピッチ誤差補正テーブル

ピッチポイント	Xピッチ	Yピッチ	Zピッチ
1	0	-2	6
2	-2	-2	4
3	-4	-2	4
4	-2	6	0
5	0	6	4
6	-2	-2	-2
7	0	0	-2
8	0	0	-2
...
n-1	0	0	0
n	0	0	0

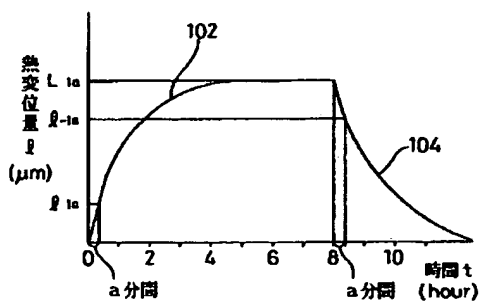
【図4】



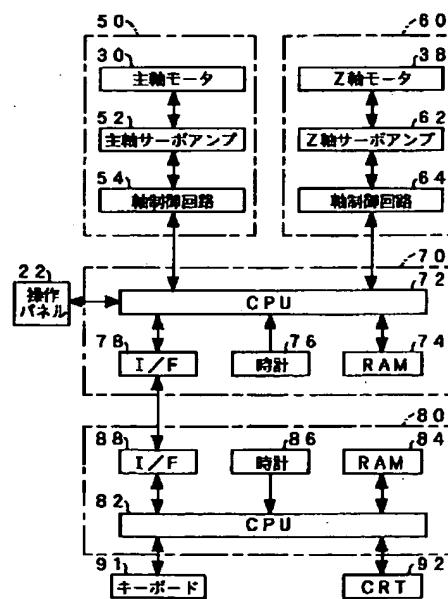
【図3】



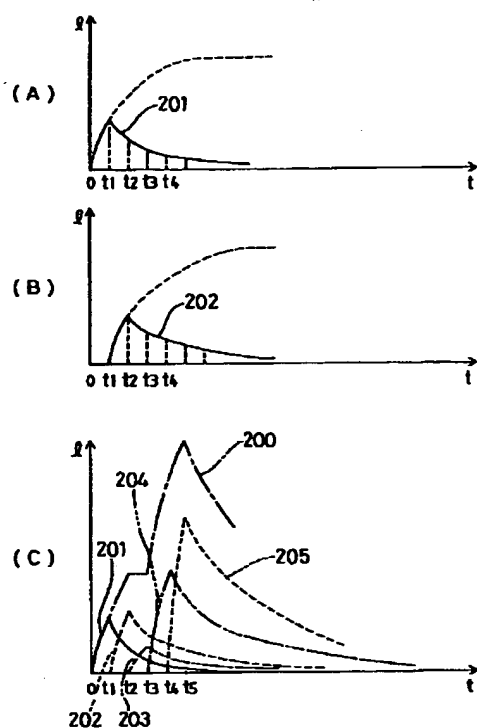
【図5】



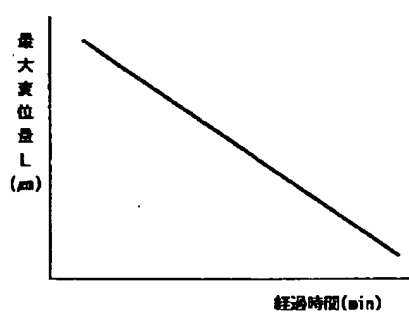
【図7】



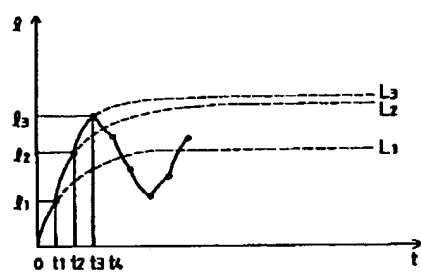
【図6】



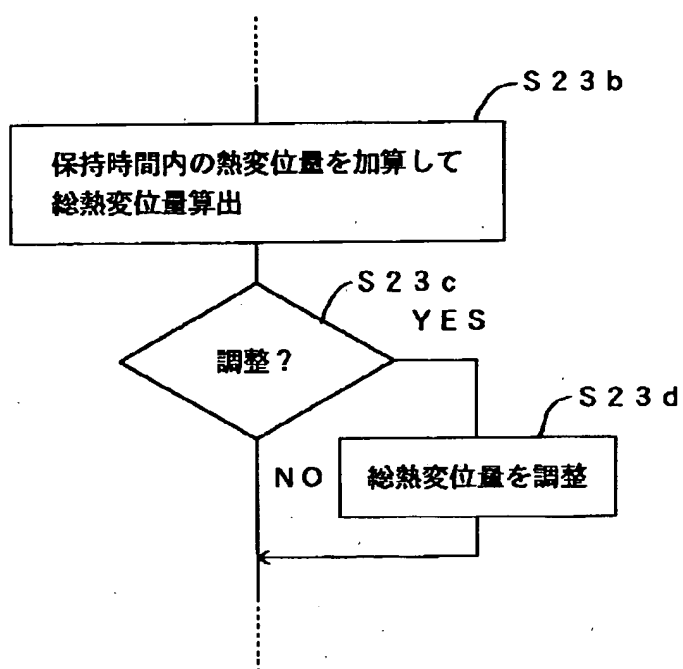
【図9】



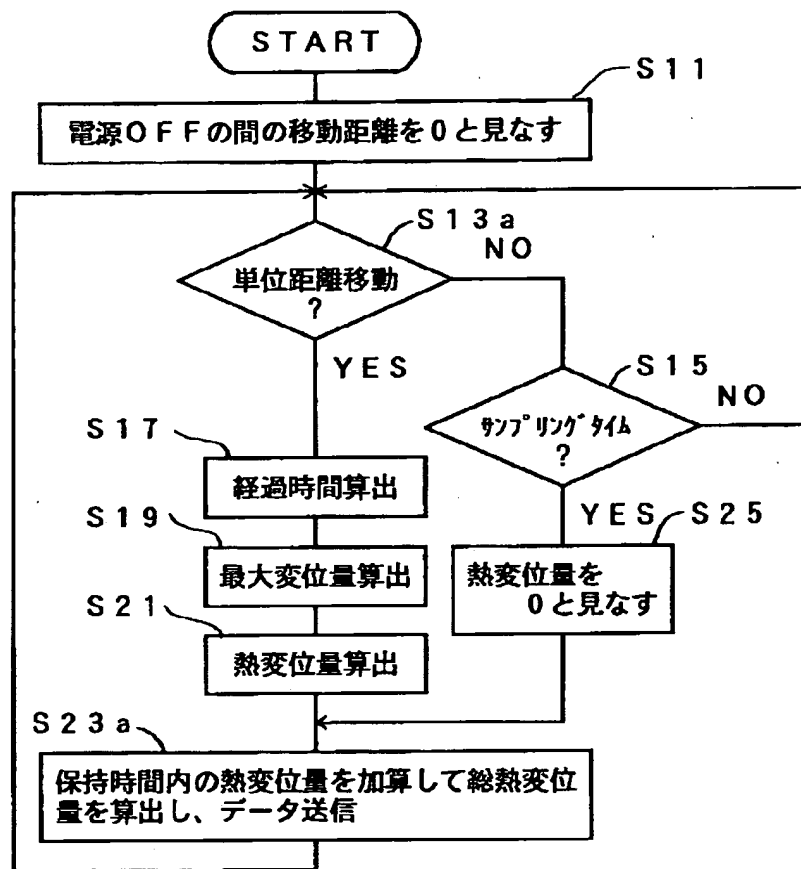
【図10】



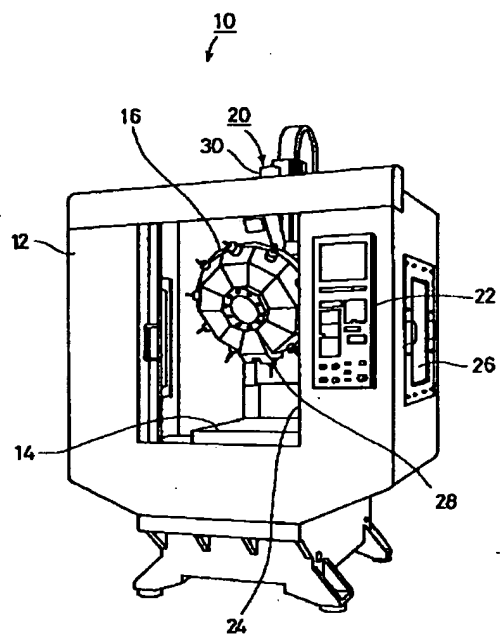
【図11】



【図8】



【図12】



【図13】

